

## 少数の負事例サンプル行動ログを用いた行動パターンの洗練 Refinement of Behavioral Pattern with a Few False Sample Behavior Logs

山原 裕之<sup>†</sup>  
Hiroyuki Yamahara

原田 史子<sup>†</sup>  
Fumiko Harada

島川 博光<sup>†</sup>  
Hiromitsu Shimakawa

### 1 はじめに

我々は、家の中でユーザの状況に応じたサービスを提供するコンテキストウェアシステムの構築を目指している。たとえば、あるユーザが外出するさいに、窓を閉め忘れていたらユーザが外に出してしまう前に通知するというような、危険の芽を事前に摘むことができるサービスである。我々は、ユーザのふるまいに応じて先行的に提供されるべきこのようなサービスを先行的サービスと呼ぶ。我々は、先行的サービスを提供する場面として、外出、就寝などの場面を想定している。

既存研究では、“紅茶を入れる”、“歯を磨く”などの単一の行動を検知する手法が提案されている [1]。しかし、ユーザが外出することを見つけ出すためには、複数の行動が互いに織り込まれた、粒度が大きい複雑なふるまいを検知する必要がある。我々はこれまでに、ユーザの動作対象のオブジェクトの種類と触れた順序に着目して、“外出”のような粒度が大きいふるまいの検知手法を提案している [2]。ふるまいは、あらかじめサンプル行動ログを用いて生成した行動パターンと、ユーザの現在のふるまいから得られる照合対象行動ログを照合することで検知される。この手法は、既存の行動認識手法 [1] と同様に、ある場面の行動パターンは、その場面の行動ログ (以下、正事例) のみから生成する。その場面以外の行動ログ (以下、負事例) を組み合わせて行動パターンを生成できれば、より高い認識精度を得られる可能性があるが、既存研究は負事例の活用については述べていない。

正事例と負事例を組み合わせて対象を認識する手法として、ブースティングなどがあるが、これらはサンプルとして多数の事例を必要とする。また、ベイジアンネットワークなどの確率ネットワークの学習による手法は、学習結果が正負の事例数のバランスに大きく影響されるため、ある程度のサンプル事例数を必要とする。しかしながら、行動認識に基づく先行的サービスは、ユーザに早期に提供開始される必要がある。多数の事例が集まる前に、短期間で収集した少数の事例から行動パターンを生成せねばならない。ゆえに、既存の方法のように、多くの負事例を組み合わせる行動パターンを生成することはできない。

本論文では、正事例から生成した行動パターンを、少数の負事例を用いて洗練する手法を提案する。一般に、正事例と負事例を組み合わせる場合、“両事例に共通する特徴は正事例の特徴とみなさない”という考えに基づいて、行動パターンを生成する。これに対して、提案手法は、“両事例に共通する特徴も正事例の特徴である”と考えて、行動パターンを洗練する。

### 2 動作対象オブジェクトに着目したふるまい検知

#### 2.1 習慣的に触れるオブジェクトの履歴

ユーザが触れたオブジェクトの履歴を取得するために、知的センサ空間を構築した。まず、ドアノブ、カップ、財布など、ユーザの生活空間にあるオブジェクトに、オブジェクトを一意的に識別可能なタグ ID を記録した RFID タグを組み込む。これに対して、ユーザは指輪型 RFID リーダを装着して生活する。この空間では、ユーザの行動に応じて、触れたオブジェクトの履歴が取得できる。

先行的サービスを提供するためには、“外出”や“就寝”といった高レベルのふるまいを検知する必要がある。“外出”などの場面では、ユーザは“トイレに行く”、“腕時計を着ける”など、個人ごとに異なる習慣的行動をとり、毎回同じオブジェクトに触れることが多い。ユーザが触れるオブジェクトの履歴は、ユーザの意図やふるまいを強く示唆するデータである。我々は、この点に着目して、ユーザが触れたオブジェクトの履歴を行動ログとして記録し、行動パターンの生成と照合を行う。

#### 2.2 順序対集合行動パターンの生成と照合

我々のふるまい検知手法では、オブジェクトへの接触の順序関係を示す順序対の集合で表現した行動パターンを生成する。外出の行動パターンを例に挙げて、行動パターンの生成手法を図 1 に示す。まずサンプル行動ログとして、外出時のユーザの行動ログを  $w$  ケース収集する。各サンプル行動ログの時間長  $t_i$  は固定とする。あるサンプル行動ログ中で  $m$  個のオブジェクト  $o_i (i = 1, 2, \dots, m)$  に順に触れていた場合、行動ログ  $l$  は接続  $\{o_1, o_2, \dots, o_i, \dots, o_m\}$  で表現される。ただし、 $o_{i-1} \neq o_i (1 < i \leq m)$  である。収集した全てのサンプル行動ログから 2 つのオブジェクト間の順序対を列挙する。あるオブジェクト  $o_i$  に触れてからオブジェクト  $o_j$  に触れていた場合、順序対  $p$  を  $\{o_i \rightarrow o_j\}$  と表記する。このとき、 $o_i = o_j$  の場合も除外しない。たとえば、行動ログ  $\{o_1, o_2, o_3\}$  から列挙される順序対は、 $p_1: \{o_1 \rightarrow o_2\}$ ,  $p_2: \{o_1 \rightarrow o_3\}$ ,  $p_3: \{o_2 \rightarrow o_3\}$  となる。次に、各順序対が  $w$  個のサンプルケースのうち何ケースに出現しているかをカウントする。最後に、列挙された順序対の中から、出現ケース数の  $w$  に対する割合が、抽出閾値  $e\%$  以上の順序対を行動パターン  $\pi$  として抽出する。

生成した行動パターン  $\pi$  は、オンラインでユーザから得られる時間長  $t_i$  の行動ログと照合する。行動パターン  $\pi$  に含まれる  $n$  個の順序対のうち、あらかじめ設定された検知閾値  $d\%$  以上の順序対が照合対象行動ログに含まれていれば、ユーザの外出のふるまいが検知される。

### 3 負事例の行動ログを用いた行動パターンの洗練

#### 3.1 負事例の行動ログを用いる効用

負事例を用いて、行動パターンの認識精度を向上させる場合、負事例の利用方法として、1) 正事例・負事例両方

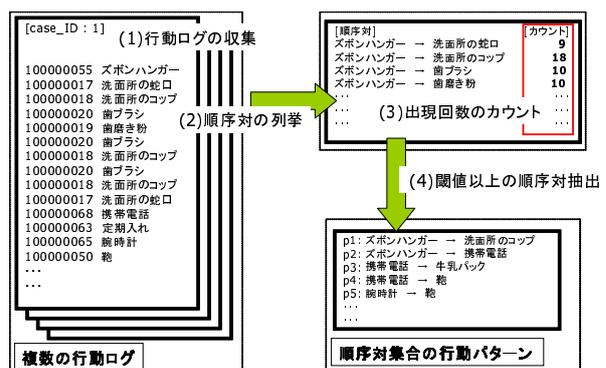


図 1: 正事例を用いた行動パターンの生成フロー

<sup>†</sup> 立命館大学

の行動ログを現在の行動パターンと照合し、その認識結果の成否を利用して、照合時の判断基準を調整する、2) 正事例・負事例のそれぞれの行動ログに含まれる特徴を考慮した、新しい行動パターンを生成する、という2つが考えられる。前者は閾値の最適化などに利用できる。後者は、行動パターンを洗練し、新しく作り変えることによって、洗練前の行動パターンから”正事例と負事例の両方に含まれる特徴”を排除し、”正事例にのみ含まれる特徴”のみを表現した行動パターンを生成できる。結果として、ある未知の負事例の行動ログに対して洗練前の行動パターンを照合したときの適合度よりも、洗練後の行動パターンを照合したときの適合度が低くなるため、未知の負事例を誤って検知しにくくなる。本論文では、後者の方法で行動パターンの認識精度向上を目指す。

### 3.2 条件付順序対の決定

図2を用いて、負事例の行動ログで行動パターンを洗練する手法を示す。図中の  $O_A$  から  $O_H$  は、順序対を構成するオブジェクトを示す。本論文では、多くの負事例が得られることを想定していないため、例として2つの負事例を用いて行動パターンを洗練する場合を考える。図中左側に示すように、洗練前の行動パターンは、順序対  $p1$  から  $p9$  の9個の順序対で構成されるものとする。

まず、負事例の行動ログ中に存在するすべての順序対を列挙する。図中右側には、2つの負事例の行動ログそれぞれに関して、列挙された順序対が示されている。行動ログの時間長は、行動パターン生成時と同じ  $t_i$  とする。次に、行動パターン中で、正事例と負事例の両方に含まれる順序対と、正事例にしか含まれない順序対を区別する。図では、負事例の行動ログ1と共通に含まれる順序対には condition 1、負事例の行動ログ2と共通に含まれる順序対には condition 2 と付記されている。本論文では、行動パターンと負事例の行動ログの両方に共通して含まれる順序対を条件付順序対と呼ぶ。提案手法は、条件付順序対を用いることで、行動パターンの認識精度を向上させる。

### 3.3 条件付順序対を除外した行動パターン照合

まず、オンラインで照合対象行動ログを、条件付順序対を除外した行動パターンと照合することを考える。前述のように、行動パターンと照合対象行動ログの照合時には、行動パターンを構成する順序対のうち何%が、照合対象行動ログの中に現れるかを計算する。行動パターンを構成する順序対に、正事例のみに含まれる順序対だけでなく、正事例と負事例の両方に共通する順序対も含まれていると、照合対象行動ログが負事例である場合でも誤って検知してしまう可能性が高くなる。そのため、行動パターンは正事例のみに含まれる順序対だけで構成することが望ましい。すなわち、図2において、負事例を用いて行動パターン

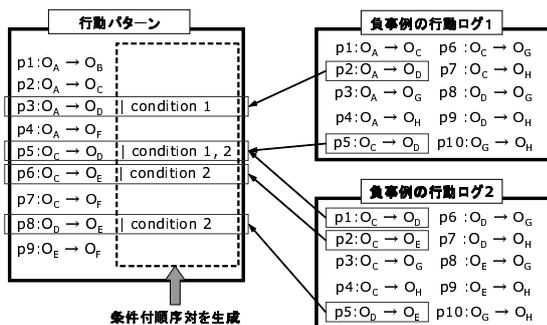


図2: 負事例を用いた条件付順序対の生成

を洗練し、新たに順序対  $p1, p2, p4, p7, p9$  で構成する行動パターンを生成するというのである。この場合、正事例と負事例に共通の特徴は、正事例の特徴とはみなさないことになる。この手法では、洗練に用いた負事例と同様の特徴を示す順序対を持つ負事例に対する認識精度は向上する。しかし逆に、行動パターンを構成する順序対の数が減り、限られることで、順序対  $p1, p2, p4, p7, p9$  を含む負事例に対する認識精度は低くなるかもしれない。これは、学習用負事例に依存した洗練を行うことで、汎化性能が低下する危険性を示している。サンプル行動ログとして多数の正事例・負事例を用いることが可能であれば、多様な負事例を用いて行動パターンを洗練できるため、このような問題は起こりにくい。しかし、本研究では、行動パターンの生成に使用できるサンプル行動ログの数が少ないため、特にこの問題を考慮しなければならない。条件付順序対を除外した行動パターンを用いることは避けるべきである。

### 3.4 条件付順序対を考慮した行動パターンの照合

提案手法は、洗練に用いる負事例以外の負事例に対する認識精度への影響を考えて、正事例と洗練用負事例の両方に共通の特徴を、行動パターンから除外しない手法を考える。本手法は、行動パターンを正事例と照合した場合のみ、条件付順序対をユーザのふるまいの特徴とみなし、逆に負事例と照合した場合は条件付順序対を特徴とみなさない。当然、行動パターンと照合対象行動ログを照合する時点では、照合対象行動ログが正事例であるか負事例であるかは判っていない。照合対象行動ログが正事例であるか否かの判断基準として、行動パターンを構成する条件付順序対以外の順序対を用いる。図2を用いて、その仕組みを説明する。図中左の行動パターンをある照合対象行動ログと照合することを考える。このとき、condition 1 が付いている  $p3$  は、 $p3, p5$  以外の順序対が照合対象行動ログ中に現れる場合のみ、行動パターンの構成要素として考慮される。 $p6, p8$  に関しては、 $p3$  とは異なる負事例を用いて決められた condition 2 が付いているため、 $p3$  とは独立に判断される。すなわち、 $p6, p8$  は、 $p5, p6, p8$  以外の順序対が照合対象行動ログ中に現れる場合のみ、行動パターンの構成要素として考慮される。 $p5$  は、condition 1 と condition 2 が両方付いているため、 $p3, p5, p6, p8$  以外の順序対が照合対象行動ログ中に現れる場合のみ、行動パターンの構成要素として考慮される。照合対象行動ログが正事例の場合は、行動パターンに含まれる順序対の多くが、その行動ログの中に現れると考えられるため、条件付順序対は行動パターンの構成要素とみなされるだろう。これに対して、照合対象行動ログが負事例の場合は、条件付順序対以外の順序対は、その行動ログ中に現れる可能性が低く、結果として条件付順序対は行動パターンの構成要素とみなされない。ゆえに、行動パターンと負事例の適合度が低くなり、負事例を誤検知しなくなると考えられる。

## 4 おわりに

本論文では、少数の負事例サンプル行動ログを用いた行動パターン洗練手法を提案した。提案手法は、条件付順序対を考慮することで、負事例に対する認識精度を向上させると考えられる。今後、実験を行い提案手法を評価する。

### 参考文献

- [1] Wang, S., et al. : Common Sense Based Joint Training of Human Activity Recognizers, Proc. IJCAI2007, pp.2237-2242 (2007).
- [2] Yamahara, H., et al. : An Behavioral Pattern to Provide Ubiquitous Service in Intelligent Space, WSEAS Trans. on Systems, Vol.6, No.3, pp.562-569 (2007).